

(19)日本国特許庁 (J P)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-282047

(43)公開日 平成11年(1999)10月15日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

G03B 11/00

H04N 9/07

識別記号

庁内整理番号

F I

G03B 11/00

H04N 9/07

技術表示箇所

Z

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平10-101822

(22)出願日 平成10年(1998)3月31日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 大沢 圭司

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

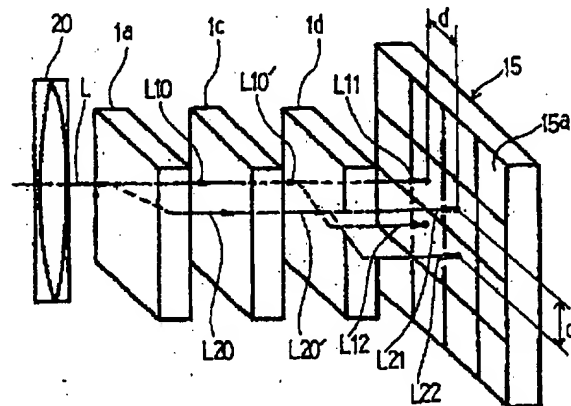
(74)代理人 弁理士 井上 義雄

(54)【発明の名称】空間周波数フィルター及びこれを備えたデジタルスチルカメラ

(57)【要約】

【課題】 2枚の複屈折板の間に1/4波長板を挟み込んで構成する空間周波数フィルターの厚さを薄くする。

【解決手段】 それぞれの複屈折による像のずれ方向が90度ずれるように配置した第1、第2の複屈折板1a、1d間に、直線偏光を円偏光に変換する1/4波長板1cを挟み込んで空間周波数フィルターを構成する。撮影レンズ20を透過した撮影光束Lは、複屈折板1aによって、常光L10と異常光L20とに分離されて2重像となる。さらに1/4波長板1cを通過後、複屈折板1dによって、常光L11と異常光L12、及び常光L21と異常光L22とに分離されて撮像面15aに4重像を形成する。複屈折板1a、1dを、常光と異常光との屈折率の差が従来の水晶よりも大きいLiNbO<sub>3</sub>によって形成することで、撮像面15a上の分離量dを大きくすることができる。逆に、水晶と同じ分離量dを得るには、複屈折板1a、1dの厚さを水晶よりも薄くできる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力光をその進行方向に直交する第1の方向に空間的に2分割して2つの光に分離する光学素子としての第1の複屈折板と、

該第1の複屈折板からの2つの光をそれぞれ1/4波長遅延させる光学素子としての1/4波長板と、

該1/4波長板からの2つの光を、前記第1の方向と直交する第2の方向に空間的にそれぞれ2分割して計4つの光に分離する光学素子としての第2の複屈折板と、を備え、

前記第1の複屈折板と前記第2の複屈折板とのうちの少なくとも一方を、リチウムナイオベートによって形成した、

ことを特徴とする空間周波数フィルター。

【請求項2】 前記第1の複屈折板と前記第2の複屈折板との間に、光学素子としてのIRカットフィルターを配置した、

ことを特徴とする請求項1記載の空間周波数フィルター。

【請求項3】 前記第1の複屈折板及び前記第2の複屈折板と、これら以外の前記光学素子との間の境界面に、反射防止コートを設けた、

ことを特徴とする請求項1又は請求項2記載の空間周波数フィルター。

【請求項4】 前記第1の複屈折板及び前記第2の複屈折板の厚さを、これら以外の前記光学素子の厚さよりも薄く設定する、

ことを特徴とする請求項1、2、又は3記載の空間周波数フィルター。

【請求項5】 前記1/4波長板に代えて、光の旋光面を45°回転させる光学素子としての旋光板を配置した、

ことを特徴とする請求項1、2、3、又は4記載の空間周波数フィルター。

【請求項6】 撮影レンズと、空間周波数フィルターと、前記撮影レンズ及び前記空間周波数フィルターを透過した被写体光を撮像する撮像素子とを備えたデジタルスチルカメラにおいて、

前記空間周波数フィルターが、前記撮影レンズと前記撮像素子との間に配置された、請求項1、2、3、4、又は5記載の空間周波数フィルターである、

ことを特徴とするデジタルスチルカメラ。

【請求項7】 クイックリターンミラー及びフォーカルプレーンシャッターを備えた一眼レフタイプカメラであり、さらに焦点を検出するためのTTL焦点検出装置を備え、

前記空間周波数フィルターを、焦点検出のための光束が通過しない位置に配置した、

ことを特徴とする請求項6記載のデジタルスチルカメラ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、空間周波数フィルター及びこれを備えたデジタルスチルカメラに関する。

【0002】

10 【従来の技術】CCDなどの撮像素子を用いたデジタルスチルカメラにおいては、撮像素子の前面にドット状の色分解フィルターが配置されており、この色分解フィルターの繰返しピッチ（画素ピッチ）と被写体の空間周波数とのビートによって色の擬信号、いわゆる「色モアレ」が発生することが知られている。この色モアレを防止するため、撮影レンズと撮像素子との間に、空間周波数を制限するための空間周波数フィルターを配置している。空間周波数フィルターには、複屈折効果を有する複屈折板が主要構成要素の一つとして使用されており、この複屈折板は、一般に、水晶によって形成されている。

【0003】図6に、特公平6-20316号公報で提案されている空間周波数フィルターを示す。このものは、それぞれの複屈折板の複屈折による像のずれ方向が、1枚目と2枚目とでほぼ90度ずれるように、2枚の複屈折板を組み合わせて構成したものであり、ドット状の色分解フィルターを有する撮像光学系に好適に使用されている。

【0004】以下、その構成と原理を簡単に説明する。撮影レンズ31を透過した自然光の撮影光束36は、1枚目の複屈折板32に入射すると、光の強度比が1:1の常光37と異常光38となって2つの光路に分かれ2重像となる。常光37と異常光38とは、1/4波長板33に入射すると、相互に90°位相の異なる2つの円偏光37'と円偏光38'に変換される。第2の複屈折板34に入射した円偏光37'と円偏光38'は、前者の円偏光37'がそれぞれ強度の等しい常光39と異常光40とに、また、同様に、後者の円偏光38'がそれぞれ強度の等しい常光41と異常光42とに分かれる。これにより、撮像素子35上には、4重像が形成される。複屈折板32、34は、それぞれの複屈折による像のずれ方向が90°ずれるように組み合わされているので、撮像素子35上の4重像は、各点の強度が等しい正方形を構成する。このときの正方形の一辺に相当する各点間の距離を分離量dとすると、この分離量dは次の(1)式で与えられる。

$$d = t \times (n_o^2 - n_e^2) / (2 n_o \times n_e) \quad \cdots (1)$$

ここで、t：複屈折板の厚さ

$n_e$ ：異常光屈折率

$n_o$ ：常光屈折率

空間周波数フィルターは、この2枚の複屈折板32、34を1/4波長板33を挟んで貼り合わせて一体化する

50 ことによって構成されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】近年のデジタルスチルカメラ(DSC)の撮像素子の発展形態には、高画素化及び大画面化という二つの方向がある。画面の大きさを従来の1/3インチから1/2インチ程度に保ったままメガピクセルを超える高画素化を進める場合には、いわゆる画素サイズが小さくなる方向になる。たとえば1/3インチ程度の画面サイズで130万画素程度の画素数の撮像素子では、画素ピッチは4 $\mu$ m程度である。この程度の画素ピッチに相当する像の分離量dを、複屈折板として最も一般的な水晶板を用いて得るには、589nmの波長の光に対する水晶の屈折率が $n_o=1.55336$ 、 $n_e=1.54425$ であるので、(1)式において $d=4\mu\text{m}$ として逆算すると、水晶板の必要な厚さは0.7mm程度になる。1/4波長板の厚さは分離量dに関係なく0.5mm程度必要なので、図6に示す空間周波数フィルターを構成すべく、2枚の水晶板(複屈折板32、34)と1/4波長板33とを3枚貼り合わせた場合の全体の厚さは、2mm程度となる。

【0006】ところが、特に一眼レフタイプカメラに用いられる撮像素子のように大画面化の方向へ進むと、事情が異なる。1/3インチCCDなら画面の大きさは3.6mm $\times$ 4.8mm程度であるが、これを例えば銀塩フィルムでのIX240システム(アドバンスフォトシステム(APS))におけるCタイプ(縦横比2:3=16mm $\times$ 24mm)と同等のサイズの画面のCCDとすると、4 $\mu$ m程度の画素ピッチでは単純計算で画面全体では2000万画素以上になってしまい、CCD作製上の歩留まりや画像情報処理回路規模・速度等の観点から未だ実用化レベルではないと考えられる。APS-Cタイプ程度の大画面CCDでは、画素数は2百数十万程度が妥当と予想され、そのときの画素ピッチは10数 $\mu$ mとなる。

【0007】一例として画素ピッチ12 $\mu$ mでAPS-CサイズのCCD(16mm $\times$ 24mm)を作製すると、その画素数は約267万画素となる。この画素ピッチ12 $\mu$ mのCCDに使用する空間周波数フィルターは、複屈折板を水晶で構成すると、水晶板1枚の厚さは、(1)式に $d=12\mu\text{m}$ を代入して計算すると $t=2.04\text{mm}$ となる。この厚さの水晶板2枚と1/4波長板(0.5mm)とを合わせると、空間周波数フィルターの厚さは4.58mmとなり、4 $\mu$ mピッチのときの空間周波数フィルター(厚さ2mm)の倍以上の厚さとなってしまふ。

【0008】さらに、CCDを用いたDSCでは、CCDの分光感度が人間の目のそれと異なるため、撮像光路内に赤外光をカットするIRカットフィルターを配置するのが通例である。このIRカットフィルター(厚さ0.8mm程度)も、空間周波数フィルターと貼り合わせて配置する。すると、12 $\mu$ m対応の空間周波数フィ

ルターは、IRカットフィルターと合わせて5.38mmもの厚さになってしまう。

【0009】このような厚さの空間周波数フィルターを撮影レンズとCCDとの間に配置することは、撮影レンズ後端とCCDの受光面との間に他に何も配置する必要のない一般的なレンズシャッター式DSCの場合であっても、ズーミング、フォーカシング等の条件を考慮した撮影レンズ最後端とCCDとの間隔の最小値(いわゆるレンズのバックフォーカス)が空間周波数フィルターの厚さより大きくなければならず、撮影レンズの光学設計上の制約になる。それにも増して、縮小光学系を用いずにレンズによる被写体像を直接、大型CCDに結像させる一眼レフタイプのDSCの場合、撮影レンズとCCDの間にはファインダーと撮像系とに光路を分けるクイックリターンミラー又は固定半透明ミラーがまず必要となり、さらに秒時形成又はCCDの画像信号読み出し時の遮光のためメカシャッターが必要となる。撮影レンズとその結像面との間にミラーとシャッターとが配置されている構成は、一般の銀塩の一眼レフカメラと同じだが、その上さらに5mmを超える空間周波数フィルターをミラーやシャッターの作動を妨害しないように配置するのは困難である。特に最近のカメラはオートフォーカス(AF)化が進み、一眼レフカメラの場合はクイックリターンミラーの裏側、すなわちクイックリターンミラーとシャッターとの間に配置したサブミラーによって光束を焦点検出装置に導くので、5mmを超えるような厚さの空間周波数フィルターの配置はさらに困難である。

【0010】そこで、本発明は、上述事情に鑑みてなされたものであり、厚さを薄く構成することのできる空間周波数フィルター及びこれを備えたデジタルスチルカメラを提供することを目的とするものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するための請求項1に係る空間周波数フィルターは、入力光をその進行方向に直交する第1の方向に空間的に2分割して2つの光に分離する光学素子としての第1の複屈折板と、該第1の複屈折板からの2つの光をそれぞれ1/4波長遅延させる光学素子としての1/4波長板と、該1/4波長板からの2つの光を、前記第1の方向と直交する第2の方向に空間的にそれぞれ2分割して計4つの光に分離する光学素子としての第2の複屈折板と、を備え、前記第1の複屈折板と前記第2の複屈折板とのうちの少なくとも一方を、リチウムナイオベートによって形成した、ことを特徴とする。

【0012】この請求項1の空間周波数フィルターによると、複屈折板をLiNbO<sub>3</sub>によって形成することにより、例えば、これを水晶によって形成した場合に比して、4つの光についての同じ分離量(詳細は後述)を得ようとした場合、複屈折板の厚さを薄くすることができ

【0013】請求項2に係る空間周波数フィルターは、前記第1の複屈折板と前記第2の複屈折板との間に、光学素子としてのIRカットフィルターを配置した、ことを特徴とする。

【0014】この請求項2の発明によると、撮像光路内の赤外光をカットすることができるものでありながら、空間周波数フィルターの厚さを薄くすることができる。

【0015】請求項3に係る空間周波数フィルターは、前記第1の複屈折板及び前記第2の複屈折板と、これら以外の前記光学素子との間の境界面に、反射防止コート 10 を設けた、ことを特徴とする。

【0016】この請求項3の発明によると、複屈折板をリチウムナイオベートで形成した場合の欠点である内面反射を抑制することができる。

【0017】請求項4に係る空間周波数フィルターは、前記第1の複屈折板及び前記第2の複屈折板の厚さを、これら以外の前記光学素子の厚さよりも薄く設定する、ことを特徴とする。

【0018】この請求項4の発明によると、空間周波数フィルター全体の厚さに占める割合において、複屈折板 20 以外の光学素子の厚さの方が支配的となる空間周波数フィルターを構成することができる。

【0019】請求項5に係る空間周波数フィルターは、前記1/4波長板に代えて、光の旋光面を45°回転させる光学素子としての旋光板を配置した、ことを特徴とする。

【0020】次に、請求項6に係るデジタルスチルカメラは、撮影レンズと、空間周波数フィルターと、前記撮像レンズ及び前記空間周波数フィルターを透過した被写体光を撮像する撮像素子とを備えたデジタルスチルカメラにおいて、前記空間周波数フィルターが、前記撮影レンズと前記撮像素子との間に配置された、請求項1、2、3、4、又は5記載の空間周波数フィルターである、ことを特徴とする。 30

【0021】請求項7に係るデジタルスチルカメラは、クイックリターンミラー及びフォーカルプレーンシャッターを備えた一眼レフタイプカメラである、ことを特徴とする。

【0022】請求項8に係るデジタルスチルカメラは、焦点を検出するためのTTL焦点検出装置を備え、前記空間周波数フィルターを、焦点検出のための光束が通過しない位置に配置した、ことを特徴とする。 40

【0023】これら請求項6、7、8のデジタルスチルカメラによると、銀塩フィルムを使うカメラと同様な構成の中にそのまま配置できる厚さの薄い空間周波数フィルターを使用することで、既に開発されている銀塩カメラの技術をそのまま画素ピッチの大きな撮像素子を使ったDSCカメラに利用できる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、図面に沿って、本発明の実 50

施の形態について説明する。

【0025】〈実施の形態1〉複屈折効果を有する物質として、水晶の他ではリチウムナイオベート(LiNbO<sub>3</sub>)が知られている。リチウムナイオベートは、電圧をかけると歪む性質を利用して通信機器の弾性表面波フィルターに使用されたり、屈折率が高く透明である性質を利用してレーザー光の導波路として使用されたりしているが、複屈折効果そのものを利用した例はほとんどない。しかしその複屈折を起こす性質を空間周波数フィルターに利用すれば、LiNbO<sub>3</sub>は、25°Cのときに、波長550nmの光の異常光に対する屈折率が $n_x = 2.2238$ 、常光に対する屈折率が $n_o = 2.3132$ となり、異常光の屈折率と常光のそれとの差が水晶より大きいので、同じ厚さの場合には、水晶よりも大きな分離量dを得ることができる。例えば、12μmの分離量dを得るには、(1)式と上述の $n_x$ 、 $n_o$ の値から、 $t = 0.3\text{mm}$ と算出することができる。これは、水晶の2.04mmに対してその15%に過ぎない。

【0026】図1に、本発明に係る、複屈折板をLiNbO<sub>3</sub>で形成した空間周波数フィルターを、一眼レフタイプのデジタルスチルカメラ(DSC)に組み込んだ例を示す。なお、同図は、DSCの構成を示す縦断面図である。

【0027】同図に示すDSCは、前部(同図中の左側をいう)に、交換可能な撮影レンズ20(図3参照)を取り付けるためのマウントが11が設けられている。ただし、同図では、撮影レンズを取り外した状態を図示している。撮影レンズ20を透過した被写体光L1は、半透明のクイックリターンミラー12によって、オートフォーカス(AF)のための透過光L1とファインダー観察用の反射光L2とに分離される。透過光L1はファインダー観察状態ではクイックリターンミラー12と一体のサブミラー13に反射し、ミラーボックス底部のTTL焦点検出装置14に入射する。一方、反射光L2は撮像面15(後述)と等価な焦点板21の焦点面21aに被写体像を結像し、その像はペンタプリズム22を介して接眼レンズ23によって拡大され観察される。

【0028】DSCがリリースされると、クイックリターンミラー12は、サブミラー13とともに、基端部12aを中心として上方に跳ね上げられ、同図中の二点鎖線12'で示す位置に退避する。これにより、撮影レンズ20を透過した被写体光L1は、撮像面15a(後述)に向かうことが可能となる。

【0029】DSCの後部(同図中の右側をいう)には、撮像素子パッケージ16が配置されている。撮像素子パッケージ16は、CCD等によって構成された撮像素子15と、その撮像面15aの前面を覆うシールガラス2とを有している。本発明に係る空間周波数フィルター1は、シールガラス2の前面にこれに近接するようにして配置されている。撮像素子パッケージ16は、ブラ

ケット17を介してカメラ本体19にねじ18によって固定されている。ブラケット17及びこれが取り付けられるカメラ本体19側は、高精度に加工されており、これにより、撮像素子パッケージ16の撮像面15aが光学的に精度よく配置されるようになっている。

【0030】空間周波数フィルター1と前述のクイックリターンミラー12との間にはシャッターユニット3が配設されており、撮像素子15の撮像信号の読み出し時の遮光を行っている。図1は、露光後の信号読み出し時の遮光幕3aが閉じられた状態を示している。このシャッターユニット3は、撮像素子露光開始時には遮光幕3aを開放して被写体光Lが撮像面15aに到達するように構成されている。

【0031】図2は、本発明に係る空間周波数フィルター1の一例を示す斜視図である。同図に示す空間周波数フィルター1は、4枚の板状の光学素子、すなわち、第1の複屈折板1a、IRカットフィルター1b、1/4波長板1c、第2の複屈折板1dを主要構成部品として構成されている。第1の複屈折板1aと、第2の複屈折板1dとは、いずれもLiNbO<sub>3</sub>によって形成されており、第1の複屈折板1aの複屈折による像のずれ方向と、第2の複屈折板1dの複屈折による像のずれ方向とが90°ずれるように配置されている。これら2枚の複屈折板1a、1dの間に、赤外光をカットするためのIRカットフィルター1bと直線偏光を円偏光に代えるための1/4波長板1cとが配置されている。1/4波長板1cは、このように2枚の複屈折板1a、1d間に配置する必要があり、また、IRカットフィルター1bは、空気に触れると白濁を起こすことから表面が空気に触れないように他の基板で挟むようにするのが通例である。なお、IRカットフィルター1bは、ガラス基板の表面にIRカット効果のある多層膜を蒸着することによって構成することができるが、この他に、例えば、基板としてLiNbO<sub>3</sub>を使用し、その表面に上述と同様の多層膜を設けるようにしてもよい。この場合、IRカットフィルター1bの厚さをさらに薄くすることが可能である。

【0032】次に、図3を参照して、図2に示す構成の空間周波数フィルター的作用について説明する。なお、図3においては、説明の便宜上、IRカットフィルター1bは省略してあり、また、第1の複屈折板1aと1/4波長板1cとの間、及び1/4波長板1cと第2の複屈折板1dとの間は離して図示してある。

$$d = t \times (n_o^2 - n_e^2) / (2n_o \times n_e) \quad \dots (1)$$

ここで、t：複屈折板の厚さ

$n_e$ ：異常光屈折率

$n_o$ ：常光屈折率

本発明に係る空間周波数フィルターは、上述の第1の複屈折板1aと、IRカットフィルター1bと、1/4波長板1cと、第2の複屈折板1dとをこの順に貼り合わ

【0033】撮影レンズ20を透過した自然光の撮影光束L（入力光）は、第1の複屈折板1aに入射すると、光の進行方向に対して垂直に振動する直線偏光（常光L10）とこの常光L10に対して垂直に振動する直線偏光（異常光L20）とに分かれる。第1の複屈折板1aの屈折率は常光L10と異常光L20に対して異なるため、入射後の撮影光束Lはそれぞれ常光L10、異常光L20となって2つの光路に分かれ2重像となる。ここで、常光L10に対する異常光L20のずれ方向（同図では水平方向）を第1の方向とすると、第1の複屈折板1aは、入力光をその進行方向に直交する第1の方向に空間的に2分割して2つの光に分離する光学素子であるといえる。これら常光L10と異常光L20は、もとが自然光であるため、光の強度比が1：1の、相互に直交する偏光面を有する直線偏光となる。

【0034】次に、常光L10と異常光L20とは、1/4波長板1cに入射する。この1/4波長板1cは直線偏光を円偏光に変換するものであり、常光L10と異常光L20とは、相互に90°位相の異なる2つの円偏光L10'と円偏光L20'へと変換される。一般に、円偏光に対し複屈折板は自然光に対するのと同等に作用するので、第2の複屈折板1dに入射した円偏光L10'と円偏光L20'は、前者の円偏光L10'がそれぞれ強度の等しい常光L11と異常光L12とに、また、同様に、後者の円偏光L20'がそれぞれ強度の等しい常光L21と異常光L22とに分かれる。このときの常光L11に対する異常光L12のずれ方向、及び常光L21に対する異常光L22のずれ方向は、いずれも上述の第1の方向に対して直交する第2の方向（同図では垂直方向）となる。

【0035】このように、はじめ1つであった撮影光束Lは、まず、第1の複屈折板1aによって、常光L10と異常光L20とに分離され、その後、1/4波長板1cによって円偏光された後、第2の複屈折板1dによって、常光L11、L21、及び異常光L12、L22の4つの光に分離される。これにより、撮像素子15の撮像面15a上には、4重像が形成される。第1、第2の複屈折板1a、1dは、前述のようにそれぞれの複屈折による像のずれ方向が90°ずれるように組み合わせられているので、撮像面15a上の4重像は、各点の強度が等しい正方形を構成する。このときの正方形の一辺に相当する各点間の距離を分離量dとすると、この分離量は、前述のように、次の(1)式で与えられる。

せて一体化することによって構成されている。

【0036】これら4枚の板状の光学素子の厚さの総計は、例えば、撮像素子15の画素ピッチを12μmとすれば、LiNbO<sub>3</sub>で形成された第1、第2の複屈折板1a、1dがそれぞれ0.3mm、水晶等で形成された1/4波長板1cが0.5mm程度、そして、IRガッ

トフィルター1bは0.5~0.8mm程度が通例なので、これらを合計して1.6~1.9mmとなる。これは最大の1.9mmとした場合においても、第1、第2の複屈折板1a、1bを水晶で形成した場合の総厚5.38mmに対してその35%であり、省スペースに多大な効果がある。特に撮像素子15の位置は、撮影レンズ20における結像面に撮像面15aを配置しなければならない関係上、自由度がなく、必然的にシャッターユニット3と空間周波数フィルター1の配置のためのスペースは限定されてくるので、水晶と比較した場合の省スペース効果は大きい。近年はAF一眼レフカメラが常識的であり、クイックリターンミラー12の後部にサブミラー13があり、サブミラー13後端とシャッターユニット3との間、及びシャッターユニット3後面とレンズ結像面との間にはともに大きなスペースはなく、通常の銀塩AFカメラの構造のままで5.38mmもの空間周波数フィルターを配置することは非常に困難である。

【0037】しかし、上述したような本発明に係る空間周波数フィルター1を使用すれば、その省スペース効果によりそれが可能となり、基本的に現行の銀塩一眼レフカメラの構成をそのまま使いながら、画素ピッチ10 $\mu$ mを超える大画面撮像素子を使ったDSCを実現することができる。

【0038】なお、本発明において第1、第2の複屈折板1a、1dを形成しているLiNbO<sub>3</sub>には劈開性があるが、1/4波長板1c等と接着して一体とすることにより、その欠点を十分補うことが可能となる。

【0039】以上の構成の空間周波数フィルター1において、1/4波長板1cに代えて、光の偏光面を45°回転させるための旋光板を使用することもできる。複屈折板を水晶で形成した従来の空間周波数フィルターにおいて、旋光板を使用する例は、例えば、前述の特公平6-20316号公報において記載されている。本発明においては、このような旋光板と、LiNbO<sub>3</sub>によって形成された第1、第2の複屈折板1a、1dとを組み合わせた構成を採用した場合においても、上述の1/4波長板1cを使用した場合とほぼ同等の効果を奏することができる。これにより、第1、第2の複屈折板1a、1d以外の構成についての自由度が増すと見える。さらに、これら1/4波長板1cや旋光板と同等の作用をなすものであれば、これらに限らず他の光学素子を使用することも可能であるのももちろんである。

【0040】図4は、第1、第2の複屈折板を、水晶で形成した場合とLiNbO<sub>3</sub>で形成した場合の、撮像素子15の画素ピッチと空間周波数フィルターの厚さとの関係を示したグラフである。ここで、複屈折板1a、1d以外のIRカットフィルター1bの厚さを0.6mm、1/4波長板1cの厚さを0.5mmとし、(1)式から得られる複屈折板1a、1dの厚さをtとすると、空間周波数フィルター全体の厚さTは、水晶では、

1.  $1+340p$  ( $p$ :撮像素子の画素ピッチ)となり、LiNbO<sub>3</sub>では、1.  $1+50.7p$ となる。画素ピッチpが大きくなればなるほど両者の厚さの差(同図の $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 参照)は大きくなるのがわかる。例えば、 $p=4\mu m$ のとき、 $\Delta 1$ は1.16mmだが、 $p=16\mu m$ のときは、 $\Delta 2$ は4.63mmとなり、画素ピッチが大きくなるほど、複屈折板1a、1dをLiNbO<sub>3</sub>で形成したことによる省スペース効果が大きいことがわかる。

【0041】なお、LiNbO<sub>3</sub>の屈折率は、水晶やIRカットフィルターの素材となるBK7相当のガラスのそれとは差が大きいので、水晶同士を貼り合わせた場合に比べてその境界面で内面反射が起こりやすい。この内面反射は、境界面に反射防止コート进行けることによって防ぐことができるので、LiNbO<sub>3</sub>を用いた空間周波数フィルターの場合、通常の光学フィルターのように表面に反射防止コート进行けるだけでなく、貼り合わせの境界面にも反射防止コート进行けることが好ましい。

【0042】〈実施の形態2〉図5に、実施の形態2を示す。本実施の形態2では、上述の実施の形態1に対して、空間周波数フィルターの配設位置を変更している。なお、実施の形態1と同じ構成・作用の部材等については、同じ符号を付してその重複説明は省略するものとする。

【0043】同図に示すように、LiNbO<sub>3</sub>を用いた薄い空間周波数フィルター1は、一眼レフタイプのカメラにおいて、クイックリターンミラー12の前面に配置することも可能である。この場合、クイックリターンミラー12が上がった撮影状態(同図中の二点鎖線)では、撮影レンズの光路(撮影光束L)中に空間周波数フィルター1が配置されていることには変わりはないので、その光学的效果は同等だが、クイックリターンミラー12が降りているファインダー観察状態(同図中の実線)においても、ファインダー観察光路及びAF検出光路中のいずれにも空間周波数フィルター1があることになるので、ファインダー像及びAF検出精度に空間周波数フィルター1の像分離の効果が影響し、厳密には望ましくない。しかし、シャッターユニット3と撮像素子15との間隔がほとんどなく、LiNbO<sub>3</sub>による省スペース効果をもってしてもシャッターユニット3と撮像素子15との間に空間周波数フィルターを配置できない場合でも、クイックリターンミラー12の先端を135サイズの一眼レフに比べて短くすることにより、クイックリターンミラー12の作動時の先端の軌跡12sと撮影レンズの最後端LBとの間に配置できるようになる。135サイズのカメラのクイックリターンミラーに比べ、撮像素子サイズが135より小さい(例えばAPSサイズ)ならば、その分、クイックリターンミラー12を小さくすることができるので、クイックリターンミラー12の先端を短くした分、LiNbO<sub>3</sub>を用いた薄い空間周波

数フィルター 1 の配置スペースを作り出すことができる。

【0044】前述及び上述の実施の形態 1 及び実施の形態 2 においては、空間周波数フィルター 1 の第 1、第 2 の複屈折板 1 a、1 d は、いずれも  $\text{LiNbO}_3$  で形成した例を説明したが、2 枚の複屈折板 1 a、1 d のうちの一方を  $\text{LiNbO}_3$  で形成し、他方を例えば水晶で形成した場合でも相応の省スペース効果をあげることができる。すなわち、本発明は、その技術的範囲として、2 枚の複屈折板 1 a、1 d のうちの双方を  $\text{LiNbO}_3$  で形成した場合はもちろん、これ以外に、一方のみを  $\text{LiNbO}_3$  で形成した場合も含むものである。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、請求項 1 に係る本発明によると、複屈折板を  $\text{LiNbO}_3$  によって形成することにより、同じ分離量を得るのに、水晶板を使用した従来のものより、複屈折板の厚さを薄くして、空間周波数フィルター全体の厚さを薄くすることができる。

【0046】請求項 2 に係る本発明によると、IR カットフィルターを配置することで、撮像光路内の赤外光をカットすることができるものでありながら、空間周波数フィルターの厚さを薄くすることができるので、IR カットフィルターを一体化した場合においても、カメラ内に配置するのに支障のない厚さの空間周波数フィルターを構成することができる。

【0047】請求項 3 に係る本発明によると、複屈折板をリチウムナイオベートで形成した場合の欠点である内面反射を抑制することができる。

【0048】請求項 4 に係る本発明によると、空間周波数フィルター全体の厚さに占める割合において、複屈折板以外の光学素子の厚さの方が支配的な空間周波数フィルターが構成することができるので、撮像素子の画素ピッチが大きくなった場合においても、空間周波数フィルターの厚さが急激に厚くなることを防止することができる。

【0049】請求項 5 に係る本発明によると、 $1/4$  波長板に代えて、旋光板を使用することができるので、空間周波数フィルターを設計する際の、光学素子の選択の自由度が増す。なお、これら  $1/4$  波長板、旋光板は、

例示であって、これらと同等に機能することを条件に他の光学素子を使用することができるのはいうまでもない。

【0050】請求項 6、7、8 に係る本発明によると、空間周波数フィルターの厚さが、銀塩フィルムを使うカメラと同様な構成の中にそのまま配置できる厚さであるので、既に開発されている銀塩カメラの技術をそのまま画素ピッチの大きな撮像素子を使った DSC カメラに利用できるという効果がある。

10 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る空間周波数フィルターを備えた一眼レフタイプのデジタルスチルカメラの実施の形態 1 を示す縦断面図である。

【図 2】本発明に係る空間周波数フィルターの構成を示す斜視図である。

【図 3】本発明に係る空間周波数フィルターの概略構成及び原理を示す斜視図である。

【図 4】空間周波数フィルターの厚さと撮像素子の画素ピッチとの関係を示す図である。

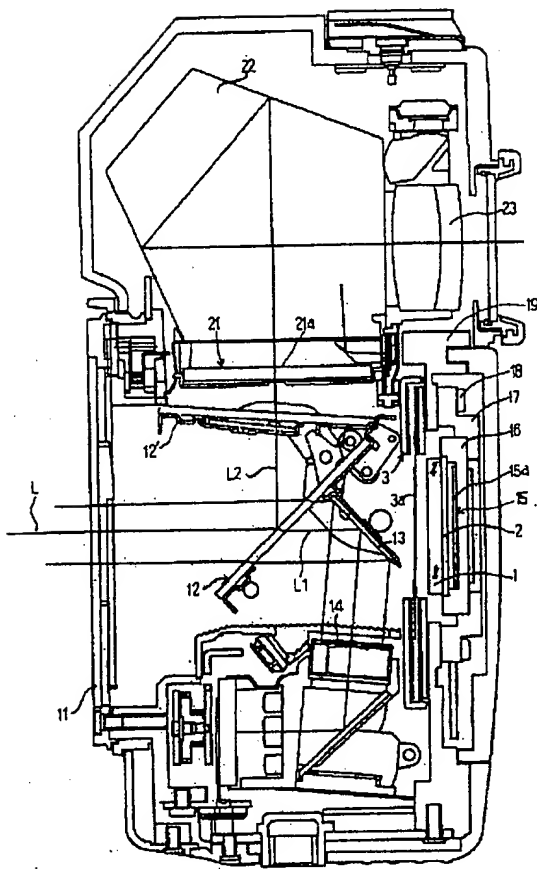
20 【図 5】本発明に係る空間周波数フィルターを備えた一眼レフタイプのデジタルスチルカメラの実施の形態 2 を示す縦断面図である。

【図 6】従来の空間周波数フィルターの概略構成及び原理を示す斜視図である。

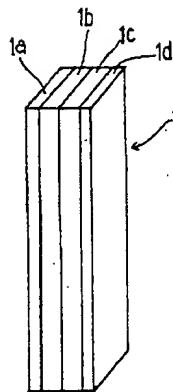
【符号の説明】

1	空間周波数フィルター
1 a	第 1 の複屈折板
1 b	IR カットフィルター
1 c	$1/4$ 波長板
1 d	第 2 の複屈折板
3	フォーカルプレーンシャッター (シャッターユニット)
1 2	クイックリターンミラー
1 3	サブミラー
1 4	TTL 焦点検出装置
1 5	撮像素子
1 5 a	撮像面
1 6	撮像素子パッケージ
d	分離量

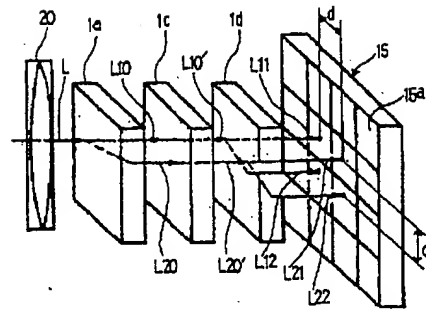
【図 1】



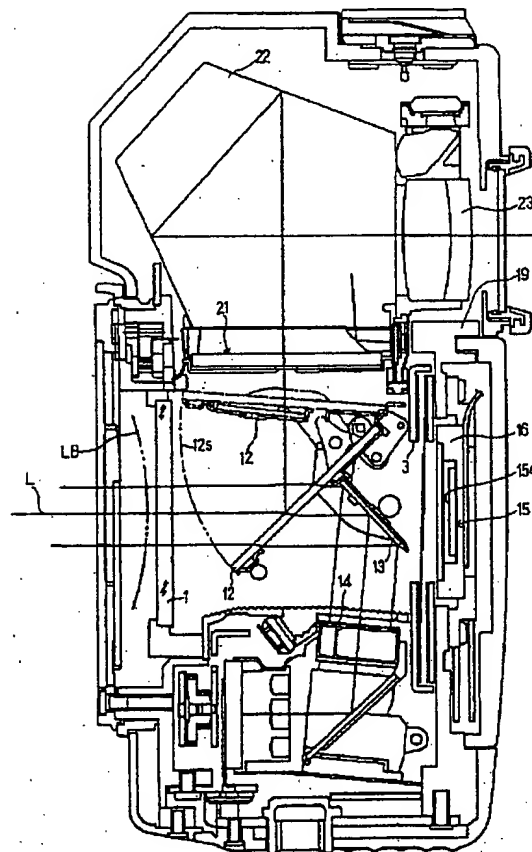
【図 2】



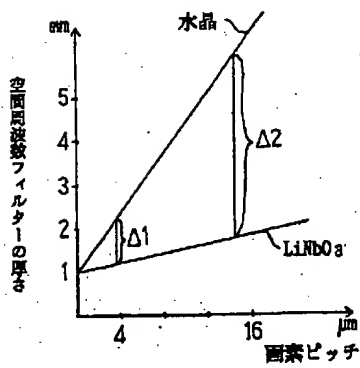
【図 3】



【図 5】

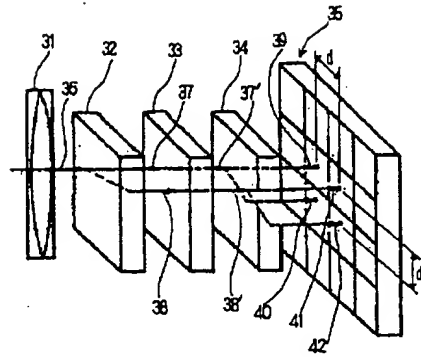


【図 4】





【図 6】



SPATIAL FREQUENCY FILTER AND DIGITAL STILL CAMERA PROVIDED WITH  
THE SAME

Japanese Unexamined Patent No. Hei-11-282047

Laid-open on: October 15, 1999

Application No. Hei-10-101822

Filed on: March 31, 1998

Applicant: Nikon Corporation

Inventor: Keiji OSAWA

Patent Attorney: Yoshio INOUE

SPECIFICATION

【Title of the invention】 Spatial frequency filter and digital still camera provided with the same

【Abstract】

【Theme】 The thickness of a spatial frequency filter that is composed of two birefringent plates and a quarter-wave plate situated therebetween is diminished.

【Solution means】 A spatial frequency filter is constructed by situating a quarter-wave plate 1c by which linearly polarized light is converted into circularly polarized light between first and second birefringent plates 1a and 1d arranged

so that the deviation direction of an image caused by the birefringence of each plate has a deviation of  $90^\circ$ . A photographic light flux L that has penetrated through a photographic lens 20 is split into an ordinary ray of light L10 and an extraordinary ray of light L20 by the birefringent plate 1a, and becomes a double image. After it further penetrates through the quarter-wave plate 1c, it is split into an ordinary ray of light L11 and an extraordinary ray of light L12 and into an ordinary ray of light L21 and an extraordinary ray of light L22 by the birefringent plate 1d, and forms a fourfold image on an image pickup plane 15a. The amount d of a split on the image pickup plane 15a can be increased by making the birefringent plates 1a and 1d out of  $\text{LiNbO}_3$  in which the difference in the refractive index between an ordinary ray and an extraordinary ray is larger than in a crystal conventionally used. By contrast, in order to obtain the same amount d of a split as the crystal, the thickness of the birefringent plates 1a and 1d can be diminished further than that of the crystal.

[What is claimed is;]

[Claim 1] A spatial frequency filter comprises;

a first birefringent plate as an optical element for spatially dividing an input beam of light in a first direction perpendicular to the traveling direction of the input beam into

two parts so as to split it into two rays of light,

a quarter-wave plate as an optical element for delaying each of the two rays from said first birefringent plate by a  $1/4$  wavelength, and

a second birefringent plate as an optical element for spatially dividing each of the two rays from said quarter-wave plate in a second direction perpendicular to the first direction into two parts so as to split the rays into four rays in total, wherein

at least one of the first birefringent plate and the second birefringent plate is made of lithium niobate.

[Claim 2] A spatial frequency filter as set forth in Claim 1, characterized in that an IR cutting filter as an optical element is situated between the first birefringent plate and the second birefringent plate.

[Claim 3] A spatial frequency filter as set forth in Claim 1 or Claim 2, characterized in that an antireflection coat is disposed on a boundary plane among the first birefringent plate, the second birefringent plate, and the optical elements excluding the first and second plates.

[Claim 4] A spatial frequency filter as set forth in Claim 1, 2, or 3, characterized in that a thickness of each of the first birefringent plate and the second birefringent plate is set

to be less than that of each of the optical elements excluding the first and second plates.

【Claim 5】 A spatial frequency filter as set forth in Claim 1, 2, 3 or 4, characterized in that an optical rotary plate as an optical element for rotating an optical rotary plane by  $45^\circ$  is disposed instead of the quarter-wave plate.

【Claim 6】 A digital still camera comprises a photographic lens, a spatial frequency filter, and an image pickup element for picking up light of a subject that has penetrated through the photographic lens and the spatial frequency filter, wherein the spatial frequency filter is the spatial frequency filter as set forth in Claim 1, 2, 3, 4, or 5 that is situated between the photographic lens and the image pickup element.

【Claim 7】 A digital still camera as set forth in Claim 6, characterized in that the digital still camera is a single lens reflex type camera including a quick return mirror and a focal-plane shutter, and further comprises a TTL focus detection device for detecting a focus, wherein

the spatial frequency filter is disposed at a position where a light flux for detecting the focus does not penetrate.

【Detailed description of the invention】

【0001】

【Field of the Invention】 The present invention relates to a

spatial frequency filter and a digital still camera provided with the .

【0002】

【Prior Arts】 In a digital still camera that uses an image pickup element such as a CCD, a dotted color-separation filter is disposed in front of the image pickup element, and it is known that a color pseudo-signal, a so-called "color moire", is generated by the beat between a repetitive pitch (pixel pitch) of this color separation filter and a spatial frequency of a subject. In order to prevent this color moire, a spatial frequency filter for limiting a spatial frequency is disposed between a photographic lens and the image pickup element. In the spatial frequency filter, a birefringent plate that has a birefringence effect is used as one main constituent element, and, in general, this birefringent plate is made of crystal.

【0003】 FIG. 6 shows a spatial frequency filter that is proposed by Japanese Patent Publication No. Hei-6-20316. This is constructed such that two birefringent plates are combined so that the deviation direction of an image caused by the birefringence of each birefringent plate has a deviation of approximately 90 degrees between the first and second plates, and this is suitably used for an image pickup optical system that has a dotted color-separation filter.

【0004】 Its structure and principle will be briefly described hereinafter. A natural photographic light flux 36 that has penetrated through a photographic lens 31 is turned into an ordinary ray 37 and an extraordinary ray 38 that have a ratio of 1:1 in light intensity when it is made incident onto the first birefringent plate 32, so that the optical path of the beam branches into two optical paths, and the rays form a double image. The ordinary ray 37 and the extraordinary ray 38 are converted into circularly polarized light 37' and circularly polarized light 38', respectively, that have a phase difference of  $90^\circ$  therebetween when they are made incident onto a quarter-wave plate 33. In the circularly polarized light 37' and the circularly polarized light 38' that have been made incident onto the second birefringent plate 34, the former circularly polarized light 37' is split into an ordinary ray 39 and an extraordinary ray 40 that are equal in light intensity, and, similarly, the latter circularly polarized light 38' is split into an ordinary ray 41 and an extraordinary ray 42 that are equal in light intensity. As a result, a fourfold image is formed on an image pickup element 35. Since the birefringent plates 32 and 34 are combined so that the deviation direction of the image caused by each birefringence has a deviation of  $90^\circ$ , the fourfold image on the image pickup element 35

constructs a square in which points are equal to each other in intensity. If the distance between the respective points that corresponds to one side of this square is defined as a separation amount  $d$ , the separation amount  $d$  is given by the following formula (1):

$$d = t \times (n_e^2 - n_o^2) / (2n_e \times n_o) \dots (1)$$

where  $t$  is the thickness of the birefringent plate,  $n_e$  is the refractive index of the extraordinary ray, and  $n_o$  is the refractive index of the ordinary ray. The spatial frequency filter is constructed by bonding the birefringent plates 32 and 34 together with the quarter-wave plate 33 therebetween, and integrating them.

[0005]

**[Themes to be Solved by the Invention]** The form of the image pickup element of a digital still camera (DSC) in recent years has developed in the two directions of increasing the pixels and the enlarging of the screen. When increasing the number of pixels to exceed a megapixel while maintaining a conventional screen size of about 1/3 inch to 1/2 inch, a direction is taken in which a so-called pixel size becomes small. A pixel pitch is about  $4\mu\text{m}$  in an image pickup element that is, for example, about 1/3 inch in screen size and about 1,300,000 in the number of pixels. In order to obtain a



separation amount  $d$  of an image that corresponds to such a pixel pitch by the use of a quartz plate that is most generally used as a birefringent plate, the thickness required of the quartz plate is about 0.7 mm if calculated backward as  $d=4\mu\text{m}$  in Equation (1) since the refractive index of crystal with respect to light having a wavelength of 589 nm is  $n_o=1.55336$  and  $n_e=1.54425$ . Since the thickness of the quarter-wave plate requires about 0.5 mm regardless of the separation amount  $d$ , the total thickness becomes about 2 mm when the three plates of the two quartz plates (birefringent plates 32 and 34) and the quarter-wave plate 33 are bonded together to construct the spatial frequency filter shown in FIG. 6.

【0006】 However, the circumstances will alter if development advances in the direction of screen enlargement such as an image pickup element used especially for a single lens reflex type camera. A screen size is about 3.6 mm×4.8 mm in a 1/3-inch CCD, and, if this is changed to a CCD equal in size to, for example, a C type (aspect ratio of 2:3=16 mm×24 mm) in the IX240 system (advanced photo system (APS)) in a silver film, the entire screen has more than 20,000,000 pixels in a pixel pitch of about  $4\mu\text{m}$  according to simple calculations, so that it is considered that it has not yet risen to a practical-use level from the viewpoint of a yield in the manufacturing

of a CCD or from the viewpoint of the scale, speed, etc., of an image processing circuit. In a CCD with a large screen of an APS-C type or a similar type, it is expected that two million and several hundred thousand is appropriate in the number of pixels, and the pixel pitch in this case is 10-odd  $\mu\text{m}$ .

【0007】 If an APS-C-sized CCD (16 mm  $\times$  24 mm) is manufactured with a pixel pitch of 12  $\mu\text{m}$  as an example, the number of pixels is about 2,670,000. In a spatial frequency filter used for the CCD with the pixel pitch of 12  $\mu\text{m}$  in which the birefringent plate is made of crystal, the thickness of the one quartz plate is expressed as  $t=2.04$  mm if a calculation is made by substituting 12  $\mu\text{m}$  for  $d$  of Equation (1). If two quartz plates each of which has this thickness and a quarter-wave plate (0.5 mm) are united together, the spatial frequency filter is 4.58 mm in thickness, which is more than twice the spatial frequency filter (2 mm in thickness) of the 4  $\mu\text{m}$  pitch.

【0008】 Further, since the spectral sensitivity of the CCD is different from that of a human eye in a DSC using the CCD, it is usual to dispose an IR cutting filter by which infrared rays are cut in an image pickup optical path. The IR cutting filter (about 0.8 mm in thickness) is also bonded to the spatial frequency filter and is disposed. As a result, the spatial frequency filter that corresponds to the 12  $\mu\text{m}$  pitch becomes

as much as 5.38 mm in thickness including the IR cutting filter.

【0009】 The disposition of the spatial frequency filter having this thickness between the photographic lens and the CCD brings about restrictions on the optical design of the photographic lens because the minimum value (a so-called back focus of a lens) of the distance between the rearmost end of the photographic lens and the CCD in consideration of the conditions of zooming, focusing, and so on must be larger than the thickness of the spatial frequency filter even in the case of a general lens shutter type DSC that has no need to dispose something between the rear end of the photographic lens and the light receiving surface of the CCD. Further, a quick return mirror or a fixed semitransparent mirror by which an optical path is divided into an optical path for a finder and an optical path for an imaging system is first needed between the photographic lens and the CCD and, in addition, a mecha-shutter is needed therebetween for shutting out rays of light when the second/frame is formed or when the picture signal of the CCD is read in the case of a single lens reflex type DSC in which a subject image by the lens is formed directly on a large CCD without using a reduction optical system. The structure in which the mirror and the shutter are disposed between the photographic lens and the image forming plane is the same as

in a single lens reflex camera of a silver film type used generally, but it is difficult to dispose the spatial frequency filter that exceeds a thickness of 5 mm so as not to obstruct the operation of the mirror or the shutter in addition to the abovementioned structure. A recent camera especially has been equipped with an autofocus (AF) mechanism, and since a light flux is guided to a focus detection device by a sub-mirror disposed on the reverse side of a quick return mirror, i.e., disposed between the quick return mirror and the shutter in the single lens reflex camera, it is even more difficult to dispose a spatial frequency filter having a thickness exceeding 5 mm.

[0010] Therefore, the present invention was made in view of the foregoing circumstances, and it is an object of the present invention to provide a spatial frequency filter that can be constructed thinner and a digital still camera provided with this filter.

[0011]

[ Means for Solving Themes ] In order to achieve the abovementioned object, a spatial frequency filter according to Claim 1 is comprises;

a first birefringent plate as an optical element for spatially dividing an input beam of light in a first direction

perpendicular to a traveling direction of the input beam into two parts so as to split it into two rays of light,

a quarter-wave plate as an optical element for delaying each of the two rays from the first birefringent plate by a  $1/4$  wavelength, and

a second birefringent plate as an optical element for spatially dividing each of the two rays from the quarter-wave plate in a second direction perpendicular to the first direction into two parts so as to split the rays into four rays in total, wherein

at least one of the first birefringent plate and the second birefringent plate is made of lithium niobate.

[0012] According to the spatial frequency filter of Claim 1, when the same separation amount (details thereof will be described later) concerning the four rays of light is intended to be obtained, the birefringent plate can be thinned further by making the birefringent plate of  $\text{LiNbO}_3$  than, for example, by making it of crystal.

[0013] A spatial frequency filter according to Claim 2 is characterized in that an IR cutting filter as an optical element is situated between the first birefringent plate and the second birefringent plate.

[0014] According to the invention of Claim 2, although the

infrared rays in an image pickup optical path can be cut, the spatial frequency filter can be thinned.

【0015】 A spatial frequency filter according to Claim 3 is characterized in that an antireflection coat is disposed on a boundary plane among the first birefringent plate, the second birefringent plate, and the optical elements excluding the first and second plates.

【0016】 According to the invention of Claim 3, internal reflection that is a defect occurring when the birefringent plate is made of lithium niobate can be suppressed.

【0017】 A spatial frequency filter according to Claim 4 is characterized in that a thickness of each of the first birefringent plate and the second birefringent plate is set to be less than that of each of the optical elements excluding the first and second plates.

【0018】 According to the invention of Claim 4, a spatial frequency filter can be constructed in which the thickness of the optical elements other than the birefringent plates predominates in terms of the percentage of the total thickness of the spatial frequency filter.

【0019】 A spatial frequency filter according to Claim 5 is characterized in that an optical rotary plate as an optical element for rotating an optical rotary plane by  $45^\circ$  is disposed

instead of the quarter-wave plate.

【0020】 Next, a digital still camera according to Claim 6 is comprises a photographic lens, a spatial frequency filter, and an image pickup element for picking up light of a subject that has penetrated through the photographic lens and the spatial frequency filter, wherein the spatial frequency filter is the spatial frequency filter as set forth in Claim 1, 2, 3, 4, or 5 that is situated between the photographic lens and the image pickup element.

【0021】 A digital still camera according to Claim 7 is characterized in that the digital still camera is a single lens reflex type camera including a quick return mirror and a focal-plane shutter.

【0022】 A digital still camera according to Claim 8 is comprises a TTL focus detection device for detecting a focus, wherein the spatial frequency filter is disposed at a position where a light flux for detecting the focus does not penetrate.

【0023】 According to the digital still camera of Claims 6, 7, and 8, it is possible to apply the technique of a silver-film camera that has already been developed, without any modification, to a DSC camera using an image pickup element large in pixel pitch by using the thin spatial frequency filter that can be disposed, without any modification, in the same

structure as the camera using a silver film.

【0024】

【Preferred Embodiments】 Embodiments of the present invention will be described hereinafter with reference to the drawings.

【0025】 〈 Embodiment 1 〉 Lithium niobate ( $\text{LiNbO}_3$ ), as well as crystal, is known as a material that has a birefringence effect. Lithium niobate is used as a surface acoustic wave filter of telecommunication equipment by exploiting the property of being distorted by the application of a voltage, or is used as a waveguide of a laser beam by exploiting the property of being high in refractive index and being transparent, but there is almost no example of using the birefringence effect itself. However, if the property of producing the birefringence is applied to the spatial frequency filter,  $\text{LiNbO}_3$  can obtain a larger separation amount  $d$  than crystal under the condition in that the two are the same in thickness because, at  $25^\circ\text{C}$ , the refractive index of light having a wavelength of 550 nm to an extraordinary ray is 2.2238 ( $n_e=2.2238$ ), and the refractive index thereof to an ordinary ray is 2.3132 ( $n_o=2.3132$ ), which shows that the difference between the refractive index of the extraordinary ray and that of the ordinary ray is larger than that of crystal. For example, in order to obtain a separation amount  $d$  of  $12\mu\text{m}$ , it can be



calculated as  $t=0.3\text{mm}$  from Equation (1) and the abovementioned values of  $n_o$  and  $n_e$ . Compared with 2.04 mm of crystal, this is only 15% thereof.

【0026】 FIG. 1 shows an example in which a spatial frequency filter whose birefringent plate is made of  $\text{LiNbO}_3$  according to the present invention is incorporated in a single lens reflex type digital still camera (DSC). This figure is a longitudinal sectional view showing the structure of the DSC.

【0027】 The DSC shown in the figure is provided with a mount 11 for placing a replaceable photographic lens 20 (see FIG. 3) at a front part (i.e., left side of the figure) thereof. The figure, however, shows the state in which the photographic lens has been detached therefrom. Subject light L that has penetrated through the photographic lens 20 is split into transmitted light L1 for auto focus (AF) and reflected light L2 for a finder observation by a semitransparent quick return mirror 12. In the state of the finder observation, the transmitted light L1 is reflected by a sub-mirror 13 integral with the quick return mirror 12, and is made incident onto a TTL focus detection device 14 at the bottom of a mirror box. On the other hand, the reflected light L2 forms a subject image on a focal plane 21a of a focusing plate 21 equivalent to the image pickup plane 15 (described later), and the image is

enlarged by an eyepiece 23 through a pentagonal prism 22 and is observed.

【0028】 When the DSC is released, the quick return mirror 12 is flapped up together with the sub-mirror 13 while centering a base end part 12a, and is evacuated to the position shown by the alternate long and two short dashes line 12' in the figure. This allows the subject light L that has penetrated through the photographic lens 20 to proceed to the image pickup plane 15a (described later).

【0029】 An image pickup element package 16 is disposed at the rear part (i.e., right side in the figure) of the DSC. The image pickup element package 16 includes the image pickup element 15 made up of a CCD and the like and a seal glass 2 covering the front side of the image pickup plane 15a. The spatial frequency filter 1 according to the present invention is disposed in front of and close to the seal glass 2. The image pickup element package 16 is fixed to a camera body 19 by means of a screw 18 through a bracket 17. The bracket 17 and the side of the camera body 19 where this is mounted undergo highly accurate processing, and, as a result, the image pickup plane 15a of the image pickup element package 16 is disposed with optically high accuracy.

【0030】 A shutter unit 3 is disposed between the spatial

frequency filter 1 and the abovementioned quick return mirror 12, thereby light is shut off when an image pickup signal of the image pickup element 15 is read. FIG. 1 shows a state in which a shading curtain 3a is closed when the signal is read after exposure. The shutter unit 3 is constructed such that the shading curtain 3a is opened when the image pickup element begins to be exposed to light so that the subject light L reaches the image pickup plane 15a.

【0031】 FIG. 2 is a perspective view showing an example of the spatial frequency filter 1 according to the present invention. The spatial frequency filter 1 shown in this figure is composed of four planar optical elements, which are main constituent elements, namely, a first birefringent plate 1a, an IR cutting filter 1b, a quarter-wave plate 1c, and a second birefringent plate 1d. The first birefringent plate 1a and the second birefringent plate 1d are each made of  $\text{LiNbO}_3$ , and they are disposed so that a deviation of  $90^\circ$  is produced between the deviation direction of an image caused by the birefringence of the first birefringent plate 1a and the deviation direction of an image caused by the birefringence of the second birefringent plate 1d. The IR cutting filter 1b for cutting infrared rays and the quarter-wave plate 1c for converting linearly polarized light into circularly polarized light are

disposed between the two birefringent plates 1a and 1d. The quarter-wave plate 1c needs to be disposed between the two birefringent plates 1a and 1d in this way, and the IR cutting filter 1b is usually sandwiched between other substrates so that its surface is not exposed to the air because cloudiness occurs on contact with the air. It should be noted that the IR cutting filter 1b can be constructed by depositing a multi-layer film, which has an IR cutting effect, on the surface of a glass substrate, and, instead of this,  $\text{LiNbO}_3$ , for example, may be used as a substrate on which the same multi-layer film as above is formed. In this case, the thickness of the IR cutting filter 1b can be diminished further.

【0032】 Next, the operation of the spatial frequency filter constructed as shown in FIG. 2 will be described with reference to FIG. 3. In FIG. 3, for convenience of explanation, the IR cutting filter 1b is omitted, and a space is given between the first birefringent plate 1a and the quarter-wave plate 1c and between the quarter-wave plate 1c and the second birefringent plate 1d.

【0033】 A natural photographic light flux L (input light) that has penetrated through the photographic lens 20 branches into linearly polarized light (ordinary ray L10) that vertically vibrates with respect to the traveling direction of light and

linearly polarized light (extraordinary ray L20) that vertically vibrates with respect to the ordinary ray L10 when the beam is made incident onto the first birefringent plate 1a. Since the refractive index of the first birefringent plate 1a shows a different value to each of the ordinary ray L10 and the extraordinary ray L20, the photographic light flux L that has been made incident onto the plate is turned into the ordinary ray L10 and the extraordinary ray L2 in individual optical paths, and forms a double image. Herein, if the deviation direction (horizontal direction in the figure) of the extraordinary ray L20 relative to the ordinary ray L10 is defined as a first direction, it can be said that the first birefringent plate 1a is an optical element that spatially divides the input light into two parts in the first direction perpendicular to the traveling direction thereof so as to split it into two rays of light. Since the ordinary ray L10 and the extraordinary ray L20 are each originally a natural ray of light, they become linearly polarized light having polarization planes perpendicular to each other and having a light intensity ratio of 1:1.

[0034] Thereafter, the ordinary ray L10 and the extraordinary ray L20 are made incident onto the quarter-wave plate 1c. The quarter-wave plate 1c is to convert linearly polarized light

into circularly polarized light, and the ordinary ray L10 and the extraordinary ray L20 are converted into two circularly polarized light L10' and L20', respectively, that are different from each other in phase by  $90^\circ$ . In general, the birefringent plate acts on circularly polarized light in the same way as on natural light, and therefore, in the circularly polarized light L10' and the circularly polarized light L20' that have been made incident onto the second birefringent plate 1d, the former circularly polarized light L10' is split into an ordinary ray L11 and an extraordinary ray L12 that are equal in intensity to each other, and, similarly, the latter circularly polarized light L20' is split into an ordinary ray L21 and an extraordinary ray L22 that are equal in intensity to each other. The deviation direction of the extraordinary ray L12 relative to the ordinary ray L11 at this time and the deviation direction of the extraordinary ray L22 relative to the ordinary ray L21 at this time each become the second direction (vertical direction in the figure) perpendicular to the first direction.

[0035] As mentioned above, the photographic light flux L, which is originally one light flux, is first split into the ordinary ray L10 and the extraordinary ray L20 by the first birefringent plate 1a, and thereafter, they are subjected to

circular polarization by the quarter-wave plate 1c, and are split into the four rays of light of the ordinary rays L11 and L21 and the extraordinary rays L12 and L22 by the second birefringent plate 1d. As a result, a fourfold image is formed on the image pickup plane 15a of the image pickup element 15. Since the first and second birefringent plates 1a and 1d are combined so that the deviation direction of the image caused by each birefringence has a deviation of 90° as mentioned above, the fourfold image on the image pickup plane 15a constructs a square in which points are equal in intensity to each other. If the distance between the respective points that corresponds to one side of this square is defined as a separation amount d, the separation amount d is given by the following formula (1):

$$d = t \times (n_e^2 - n_o^2) / (2n_e \times n_o) \dots\dots (1)$$

where t is the thickness of the birefringent plate,  $n_e$  is the refractive index of the extraordinary ray, and  $n_o$  is the refractive index of the ordinary ray. The spatial frequency filter according to the present invention is constructed by bonding the first birefringent plate 1a, the IR cutting filter 1b, the quarter-wave plate 1c, and the second birefringent plate 1d together in this order, and integrating them.

[0036] It is usual that, if the pixel pitch of the image pickup

element 15 is, for example,  $12\text{ }\mu\text{m}$ , the first and second birefringent plates 1a and 1d made of  $\text{LiNbO}_3$  are each 0.3 mm in thickness, the quarter-wave plate 1c made of crystal or the like is about 0.5 mm in thickness, and the IR cutting filter 1b is about 0.5 to 0.8 mm in thickness, and therefore the total thickness of the four planar optical elements attains 1.6 to 1.9 mm as a result of adding up them. This thickness, for example, the maximum 1.9 mm, is 35% of the total thickness 5.38 mm obtained when the first and second birefringent plates 1a and 1b are each made of crystal, thus having a considerable effect in space-saving. Especially, the position of the image pickup element 15 does not have the least degree of freedom for the reason that the image pickup plane 15a must be disposed on an image formation plane of the photographic lens 20, and a space for arranging the shutter unit 3 and the spatial frequency filter 1 is inevitably limited, and therefore the space-saving effect is larger than in the case of crystal. An AF single lens reflex camera has become a commonly used in recent years, and there is the sub-mirror 13 in the rear part of the quick return mirror 12, and a wide space is not provided between the rear end of the sub-mirror 13 and the shutter unit 3 or between the rear side of the shutter unit 3 and the lens image forming plane, and therefore, if the structure of the silver-film AF camera



usually used is not improved, it is very difficult to dispose the spatial frequency filter having a considerable thickness of 5.38 mm.

【0037】 However, if the spatial frequency filter 1 according to the present invention as mentioned above is used, that becomes possible by the space-saving effect, and it becomes possible to realize a DSC that uses a large-screen image pickup element exceeding a pixel pitch of  $10\mu\text{m}$  while basically using the structure of the present silver-film single lens reflex camera without adding improvements thereto.

【0038】 Although  $\text{LiNbO}_3$ , that forms the first and second birefringent plates 1a and 1d has cleavage, its drawback can be sufficiently compensated for by bonding it to the quarter-wave plate 1c and the like and integrating them in the present invention.

【0039】 In the spatial frequency filter 1 constructed as above, an optical rotary plate for rotating the polarization plane of light by  $45^\circ$  can be used instead of the quarter-wave plate 1c. The example using the optical rotary plate in the conventional spatial frequency filter whose birefringent plate is made of crystal is disclosed by, for example, Japanese Patent Publication No. Hei-6-20316 described above. In the present invention, almost the same effect as in the case where

the abovementioned quarter-wave plate 1c is used can be achieved even in the case of the adoption of a structure composed of an optical rotary plate such as the abovementioned one and the first and second birefringent plates 1a and 1d made of  $\text{LiNbO}_3$ . Thereby, it can be said that the degree of freedom concerning structures other than the first and second birefringent plates 1a and 1d is raised. Further, it is, of course, possible to use other optical elements, if they perform the same operation as the quarter-wave plate 1c or the optical rotary plate, without being limited to these plates.

【0040】 FIG. 4 is a graph showing the relationship between the pixel pitch of the image pickup element 15 and the thickness of the spatial frequency filter in the case where the first and second birefringent plates are each made of crystal and in the case where they are each made of  $\text{LiNbO}_3$ . Herein, if the thickness of the IR cutting filter 1b other than the birefringent plates 1a and 1d is 0.6 mm, and the thickness of the quarter-wave plate 1c is 0.5 mm, and the thickness of the birefringent plates 1a and 1d obtained from Equation (1) is  $t$ , the total thickness  $T$  of the spatial frequency filter is  $1.1+340p$  ( $p$  is the pixel pitch of the image pickup element) in crystal, and is  $1.1+50.7p$  in  $\text{LiNbO}_3$ . It is understood that the larger the pixel pitch  $p$  becomes, the larger the difference

(see  $\Delta 1$  and  $\Delta 2$  in the figure) in thickness between the two cases becomes. For example,  $\Delta 1$  is 1.16 mm when  $p=4\mu\text{m}$ , and  $\Delta 2$  is 4.63 mm when  $p=16\mu\text{m}$ , and it is understood that a space-saving effect obtained by making the birefringent plates 1a and 1d of  $\text{LiNbO}_3$  is heightened as the pixel pitch becomes larger.

[0041] It should be noted that, since the refractive index of  $\text{LiNbO}_3$  is vastly different from that of crystal or that of glass corresponding to BK7 that is a material of the IR cutting filter, internal reflection occurs in its boundary plane more easily than in the case where plates of crystal are bonded together. In the case of the spatial frequency filter that uses  $\text{LiNbO}_3$ , since the internal reflection can be prevented by mounting an antireflection coat at the boundary plane, it is preferable to mount not only the antireflection coat on its surface like a usually used optical filter but also the antireflection coat at the boundary plane where the plates are bonded together.

[0042] < Embodiment 2 > FIG. 5 shows a second embodiment. In the second embodiment, the position of disposition of the spatial frequency filter is changed so as to differ from its position in the first embodiment. The same symbols are given to the members having the same structure/operation as in the

first embodiment, and a repeated description thereof is omitted.

【0043】 As shown in this figure, the thin spatial frequency filter 1 that uses  $\text{LiNbO}_3$  can also be disposed in front of the quick return mirror 12 in a single lens reflex type camera. In this case, since the spatial frequency filter 1 is still disposed in the optical path (photographic light flux L) of the photographic lens in a photographing state (alternate long and two short dashes line in the figure) in which the quick return mirror 12 is in a raised position, its optical effect is equal, and, since the spatial frequency filter 1 is disposed in both of a finder observation optical path and an AF detection optical path also in a finder observation state (solid line in the figure) in which the quick return mirror 12 is in a lowered position, the effect of image separation of the spatial frequency filter 1 exerts an influence upon a finder image and upon AF detection accuracy, and thus strictly speaking is undesirable. However, even if there are very few intervals between the shutter unit 3 and the image pickup element 15, so that the spatial frequency filter cannot be disposed between the shutter unit 3 and the image pickup element 15 even by the space-saving effect of  $\text{LiNbO}_3$ , the filter can be disposed between a track 12s of the front end of the quick return mirror

12 when operated and the rearmost end LB of the photographic lens by shortening the front end of the quick return mirror 12 further than in a 135-size single lens reflex camera. Since the quick return mirror 12 can be made smaller correspondingly if the size of the image pickup element is less than 135 (APS size, for example) in comparison with the quick return mirror of the 135-size camera, the arrangement space of the thin spatial frequency filter 1 that uses  $\text{LiNbO}_3$  can be created in proportion to the shortening of the front end of the quick return mirror 12.

【0044】 In the first embodiment mentioned above and the second embodiment mentioned immediately above, a description was given of an example in which the first and second birefringent plates 1a and 1d of the spatial frequency filter 1 are each made of  $\text{LiNbO}_3$ , but a similar space-saving effect can be achieved even in an example in which one of the two birefringent plates 1a and 1d is made of  $\text{LiNbO}_3$  and the other one is made of, for example, crystal. That is, the present invention includes, as its technical scope, not only the example in which both of the two birefringent plates 1a and 1d are made of  $\text{LiNbO}_3$ , but also the example in which only one of them is made of  $\text{LiNbO}_3$ .

【0045】

【Effects of the Invention】 As described above, according to

the present invention of Claim 1, it is possible to make the birefringent plate thinner and make the entire spatial frequency filter thinner than the conventional plate that uses a crystal plate by making the birefringent plate of  $\text{LiNbO}_3$  in order to obtain the same separation amount.

【0046】 According to the present invention of Claim 2, since the thickness of the spatial frequency filter can be reduced while infrared rays in the image pickup optical path can be cut by disposing the IR cutting filter, the spatial frequency filter having a thickness that causes no obstruction to its disposition in the camera can be constructed even when the IR cutting filter is integrated therewith.

【0047】 According to the present invention of Claim 3, internal reflection that is a drawback occurring when the birefringent plate is made of lithium niobate can be suppressed.

【0048】 According to the present invention of Claim 4, since it is possible to construct the spatial frequency filter in which the thickness of optical elements other than the birefringent plate predominates in terms of the percentage of the total thickness of the spatial frequency filter, the spatial frequency filter can be prevented from rapidly thickening even when the pixel pitch of the image pickup element increases.

【0049】 According to the present invention of Claim 5, since the optical rotary plate can be used instead of the quarter-wave plate, the degree of freedom to select optical elements increases when the spatial frequency filter is designed. It should be noted that the quarter-wave plate and the optical rotary plate are examples, and, needless to say, other optical elements can be used if the other optical elements function in the same way as the plates.

【0050】 According to the present invention of Claims 6, 7, and 8, since the thickness of the spatial frequency filter is the one that is enough to be disposed in a structure similar to that of a camera that uses a silver film, the technique of the silver-film camera that has already been developed is advantageously applicable, without any modification, to a DSC camera that uses an image pickup element large in pixel pitch.

【Brief description of the drawings】

【FIG. 1】 A longitudinal sectional view that shows embodiment 1 of the single lens reflex type digital still camera provided with the spatial frequency filter according to the present invention.

【FIG. 2】 A perspective view that shows the structure of the spatial frequency filter according to the present invention.

【FIG. 3】 A perspective view that shows the schematic structure

and principle of the spatial frequency filter according to the present invention.

【FIG. 4】 A diagram that shows the relationship between the thickness of the spatial frequency filter and the pixel pitch of the image pickup element.

【FIG. 5】 A longitudinal sectional view that shows embodiment 2 of the single lens reflex type digital still camera provided with the spatial frequency filter according to the present invention.

【FIG. 6】 A perspective view that shows the schematic structure and principle of the conventional spatial frequency filter.

【Description of Symbols】

- 1 Spatial frequency filter
- 1a First birefringent plate
- 1b IR cutting filter
- 1c Quarter-wave plate
- 1d Second birefringent plate
- 3 Focal-plane shutter (shutter unit)
- 12 Quick return mirror
- 13 Sub-mirror
- 14 TTL focus detection device
- 15 Image pickup element
- 15a Image pickup plane



16 Image pickup element package

d Separation amount

Fig.1

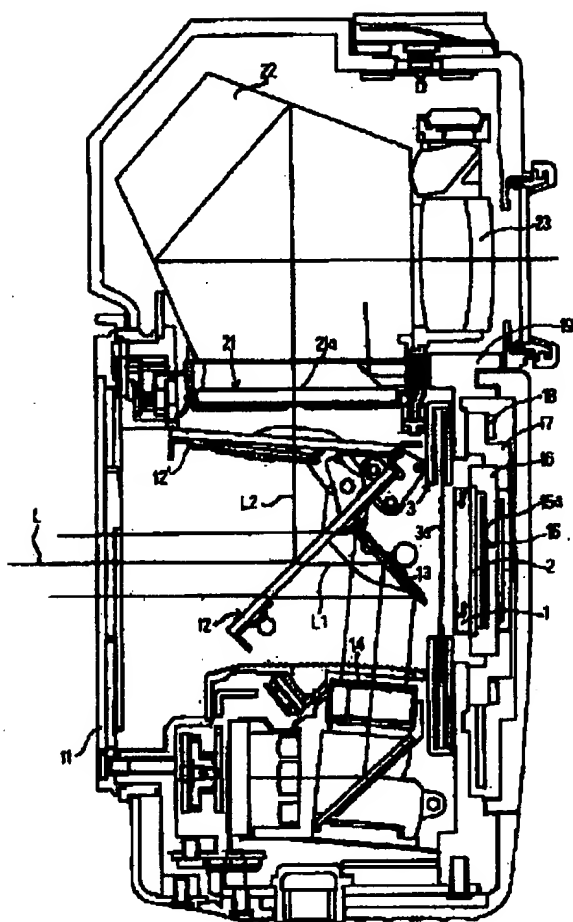


Fig.2

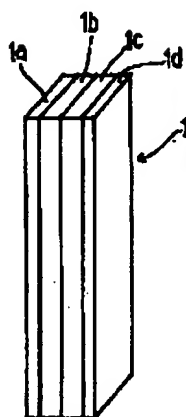


Fig.3

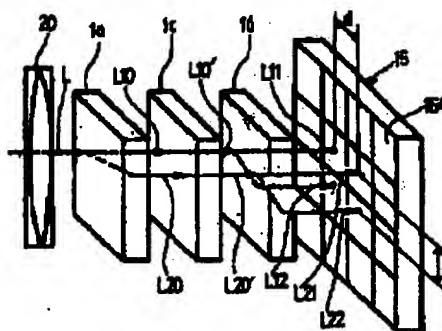


Fig.5

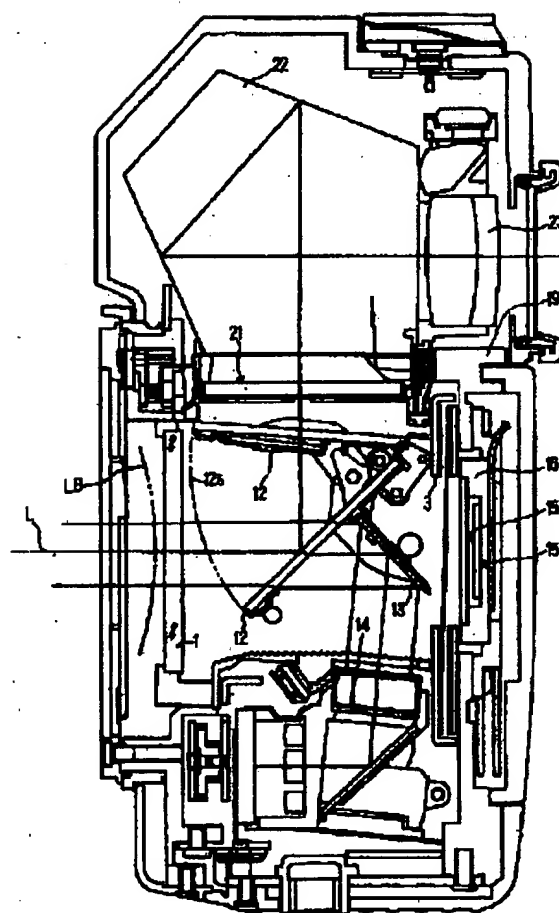


Fig.4

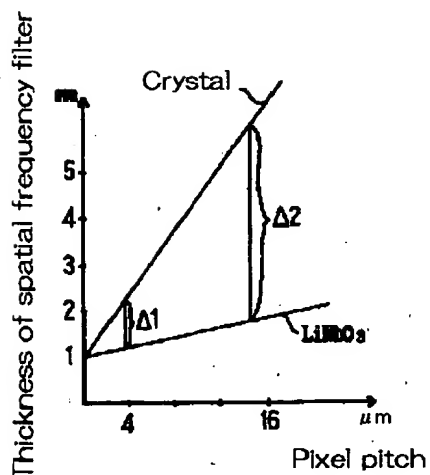


Fig.6

